

19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 Patentschrift
10 DE 196 46 332 C 2

51 Int. Cl. 7:
B 23 K 26/00
B 23 K 26/40

21 Aktenzeichen: 196 46 332.7-34
22 Anmeldetag: 9. 11. 1996
43 Offenlegungstag: 14. 5. 1998
45 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 10. 8. 2000

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung e.V., 80636 München, DE
74 Vertreter:
Rauschenbach, M., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 01187
Dresden

72 Erfinder:
Lenk, Andreas, Dr., 01728 Possendorf, DE
56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:
DE 27 11 889 A1
US 52 06 496 A
EP 1 76 872 B1
DICKMANN, K. u.a.: "Innenbearbeitung von Glas
mit Nd:YAG-Laser" in: Laser Magazin, 1995,
H. 1, S. 16-19;

- 54 Verfahren zur Veränderung des optischen Verhaltens an der Oberfläche und/oder innerhalb eines Werkstückes mittels eines Lasers
- 57 Verfahren zur Veränderung des optischen Verhaltens an der Oberfläche und/oder innerhalb eines Werkstückes mittels eines modensynchronisierten und gütegeschalteten Festkörperlaser, bei dem an und/oder in ein für die Laserstrahlung transparentes Werkstück ein Energieeintrag mittels eines fokussierten Laserstrahls, der eine Leistungsdichte von $> 10^{10} \text{ W/cm}^2$ aufweist, vorgenommen wird, wobei der Laser Pulszüge mit Pulslängen von $< 100 \text{ ps}$ bei einer Pulsenergie von maximal $100 \text{ }\mu\text{J}$ emittiert und die Laserenergie des gesamten Pulszuges etwa 1 mJ erreicht, und wobei der Energieeintrag zur Veränderung des optischen Verhaltens an der Oberfläche des Werkstückes in einem Vakuum vorgenommen wird.

DE 196 46 332 C 2

DE 196 46 332 C 2

BEST AVAILABLE COPY

Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der Lasertechnik und betrifft ein Verfahren zur Veränderung des optischen Verhaltens an der Oberfläche und/oder innerhalb eines Werkstückes mittels eines Lasers, wie es z. B. für die Herstellung von Schriftzeichen oder Bildern im Inneren eines Werkstückes angewandt werden kann.

Das Strukturieren von Oberflächen mittels gepulster Laser zum Zwecke der Beschriftung und Markierung ist ein bekanntes und vielfach angewendetes Verfahren. Besonders geeignet sind dafür Laser mit Pulslängen im Nanosekunden-Bereich. Durch die hohe Laserpulsleistung und durch eine geeignete Fokussierung lassen sich Leistungsdichten im Bereich von 107 bis 109 W/cm² auf der Werkstückoberfläche erreichen.

Derartige Leistungsdichten bewirken die Zündung eines dichten Plasmas auf der Oberfläche, das neben der eigentlichen Laserstrahlung einen hohen Energieeintrag in das Werkstück realisiert. Die absorbierte Energie führt zu einer starken lokalen Aufheizung sowie zum Abtragen von Material aus der Werkstückoberfläche. Der gewünschte optische Kontrast wird durch die modifizierte Oberflächentopographie und -morphologie oder durch thermisch induzierte Veränderungen in der chemischen Zusammensetzung erzeugt.

Eine andere bekannte Variante des Laserbeschriftens und -markierens ist die Bearbeitung des Werkstückes unterhalb seiner Oberfläche (US 5,206,496). Dieses Verfahren beruht auf der Fokussierung der Laserstrahlung innerhalb des Werkstücks, so daß nur im Fokus die für den gewünschten thermischen Effekt notwendige Leistungsdichte erreicht wird.

Weiterhin ist ein Verfahren zur intravolumen Glasmarkierung bekannt. Durch dieses Verfahren werden Symbole, Schriftzeichen und auch Bilder nicht auf die Oberfläche, sondern im Inneren eines Materials per Laser eingraviert.

Die gewünschte Struktur wird dabei in ein Pixelbild übertragen und diese Punkte werden einzeln durch einen fokussierten Laserpuls erzeugt. Das Bild kann auch mit Hilfe eines 3-Achsen-Positionierungssystems für den Laser 3-dimensional in das Werkstück eingraviert werden.

Da die Struktur im Glasinneren liegt, wird sie durch äußere Einflüsse weder abgenutzt noch verändert. Der Herstellungsprozeß schädigt die Glasoberfläche nicht.

Es ist ebenfalls ein Verfahren zur Innenbearbeitung von Glas mit Nd:YAG-Laser bekannt (K. Dickmann, u. a., Laser-Magazin, 1995, H. 1, S. 16-18). Bei diesem Verfahren wird mit einem Nd:YAG-Laser, der ein modensynchronisierter Laser ist, bei Leistungsdichten von mindestens 1 GW/cm² das optische Verhalten innerhalb von Glas durch fokussierte Laserimpulse mit Pulslängen von 100 ps und einer Pulsenergie von mindestens 20-30 mJ verändert. Dabei sind jedoch die Prozeßparameter in einem engen Toleranzfenster anzupassen.

Der Nachteil der bekannten Verfahren bestehen einerseits in einer Oberflächenschädigung und/oder in der begrenzten Bearbeitungstiefe und in einem engen Toleranzfenster der Prozeßparameter.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Veränderung des optischen Verhaltens an der Oberfläche und/oder innerhalb eines Werkstückes mittels eines Lasers anzugeben, das ohne Oberflächenschädigung in einer vergleichsweise großen Tiefe innerhalb eines Werkstückes Veränderungen realisiert.

Die Aufgabe wird durch die in den Ansprüchen angegebenen Erfindung gelöst.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Veränderung des optischen Verhaltens an der Oberfläche und/oder inner-

halb eines Werkstückes mittels eines modensynchronisierten und gütegeschalteten Festkörperlaser, wird an und/oder in ein für die Laserstrahlung transparentes Werkstück ein Energieeintrag mittels eines fokussierten Laserstrahls, der eine Leistungsdichte von $> 10^{10}$ W/cm² aufweist, vorgenommen, wobei der Laser Pulszüge mit Pulslängen von < 100 ps bei einer Pulsenergie von maximal 100 μ J emittiert und die Laserenergie des gesamten Pulszuges etwa 1 mJ erreicht. Dabei wird der Energieeintrag zur Veränderung des optischen Verhaltens an der Oberfläche des Werkstückes in einem Vakuum vorgenommen.

Vorteilhafterweise wird eine programmierbare, und zwischen dem Bewegungsablauf und den Laserpulsen synchronisierte 2D- oder 3D-Relativbewegung zwischen Laserstrahl und Werkstück realisiert.

Das erfindungsgemäße Verfahren wird möglich, indem ein Laser mit einer Pulslänge im Pikosekunden-Bereich eingesetzt wird. Mit z. B. einem modensynchronisierten und gütegeschalteten Nd-YLF-Laser ist die Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens möglich. Ein derartiger Laser emittiert beispielsweise Pulszüge mit Pulslängen von 60 ps und Pulsphasen von 13 ns bei einer maximalen Pulsenergie von 100 μ J.

Mit einem derartigen Laser kann durch eine Fokussierung mit einer Brennweite von beispielsweise 60 mm eine Leistungsdichte im Bereich von 10^{10} bis 10^{12} W/cm² erreicht werden. Wenn ein Festkörper einer mit diesen hohen Leistungsdichten verbundenen elektrischen Feldstärke ausgesetzt wird, kommen die nichtlinearen optischen Eigenschaften zur Wirkung, das heißt, daß der komplexe Brechungsindex von der elektrischen Feldstärke abhängt. Die Veränderung des Realteils des Brechungsindex bewirkt den Effekt der Selbstfokussierung. Die Veränderungen des Imaginärteils des Brechungsindex führt zu einem starken Anstieg des Absorptionsvermögens des betroffenen Werkstückgebietes.

Diese beiden Effekte bewirken damit eine lokalisierte Absorption und die Ausbildung eines Kontrastes auch an hochtransparenten Werkstücken. Durch den kurzzeitigen und lokalisierten Energieeintrag durch den fokussierten Laserstrahl werden Mikrorisse erzeugt, die durch ihre Streuung den Kontrast zwischen den bearbeiteten und nicht bearbeiteten Flächen oder Bereichen hervorrufen. Dies führt dazu, daß sich das optische Verhalten an der Oberfläche und/oder im Inneren des Werkstückes aufgrund nichtlinearer Effekte verändert.

Durch das erfindungsgemäße Verfahren sind wesentlich größere als bisher mögliche Bearbeitungstiefen im Inneren von Werkstücken möglich und es steht auch eine größere Auswahl an Materialien zur Verfügung, die lediglich das Kriterium der Transparenz für einen Laser erfüllen müssen.

Ein weiterer Vorteil eines modensynchronisierten und gütegeschalteten Feststofflasers besteht darin, daß er Impulszüge mit Pulsphasen von nur 13 ns emittiert. Dadurch kann der einzelne Laserpuls die durch den vorhergehenden Puls erzeugten veränderten optischen Eigenschaften für eine erhöhte Absorption seinerseits nutzen. Dieser Effekt bewirkt, daß im Vergleich zu herkömmlichen Verfahren eine relativ geringe Laserenergie (des gesamten Pulszuges) von rund 1 mJ ausreicht, um den oben genannten Effekt zu erreichen.

Durch den konzentrierten Energieeintrag wird die thermische Belastung für das Werkstück minimiert und damit Bearbeitungsverlust reduziert.

Durch die 2D- und 3D-Relativbewegung von Laser und Werkstück und durch die Synchronisation zwischen dem Bewegungsablauf und den Laserimpulsen lassen sich Werkstücke mit beliebigen Strukturen erzeugen.

Bei der Bearbeitung von Oberflächen von Werkstücken,

die für einen Laser transparent sind, ist es notwendig, daß die Bearbeitung unter Vakuumbedingungen durchgeführt wird, um die Absorptionserscheinungen in der Atmosphäre (Plasmadurchbruch) zu vermeiden.

Im weiteren wird die Erfindung an einem Ausführungsbeispiel näher erläutert.

An hochwertigen Bleikristallgläsern mit einer Wanddicke von 40 mm wird mit dem erfindungsgemäßen Verfahren eine dekorative Bearbeitung vorgenommen. Dazu wird mit einem gütegeschalteten und modensynchronisierten Nd:YLF-Laser gearbeitet. Der Fokus wird auf einen Punkt eingestellt, der 20 mm unterhalb der Oberfläche des Bleikristallglases liegt. Der Bewegungsablauf des Lasers ist positionssynchron programmiert und fährt beispielsweise einen Schriftzug oder eine figürliche Darstellung ab. Zu diesem Bewegungsablauf ist die Laserpulsfolge synchronisiert.

Die Pulslänge des Laserstrahls beträgt 60 ps und die Leistungsdichte des Laserstrahls beträgt $5 \times 10^{11} \text{ W/cm}^2$. Mit diesen Leistungsdaten werden Bearbeitungszeiten an einem einzelnen Glas von wenigen Minuten möglich.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Veränderung des optischen Verhaltens an der Oberfläche und/oder innerhalb eines Werkstückes mittels eines modensynchronisierten und gütegeschalteten Festkörperlaser, bei dem an und/oder in ein für die Laserstrahlung transparentes Werkstück ein Energieeintrag mittels eines fokussierten Laserstrahls, der eine Leistungsdichte von $> 10^{10} \text{ W/cm}^2$ aufweist, vorgenommen wird, wobei der Laser Pulszüge mit Pulslängen von $< 100 \text{ ps}$ bei einer Pulsenergie von maximal $100 \mu\text{J}$ emittiert und die Laserenergie des gesamten Pulszuges etwa 1 mJ erreicht, und wobei der Energieeintrag zur Veränderung des optischen Verhaltens an der Oberfläche des Werkstückes in einem Vakuum vorgenommen wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem eine programmierbare, und zwischen dem Bewegungsablauf und den Laserpulsen synchronisierte 2D- oder 3D-Relativbewegung zwischen Laserstrahl und Werkstück realisiert wird.

- Leerseite -